

# GENETİK TABANLI GELENEKSEL DENETLEYİCİLERLE ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORUN POZİSYON TAKİP KONTROLÜ

Oğuz Üstün \*

Geliş Tarihi/ Received: 16.03.2016, Kabul tarihi/Accepted: 20.04.2016

## Özet

Bu çalışmada orantı (P) ve orantı+integral (PI) geleneksel denetleyiciler kullanılarak anahtarlama relüktans motorun (ARM) pozisyon takip kontrolü gerçekleştirilmiştir. Pozisyon döngüsünde P ve hız döngüsünde PI denetleyici kullanılmıştır. Geleneksel denetleyicilerin katsayılarının belirlenmesinde deneme-yanılma ya da analitik metotlar kullanılabilir. Bu yöntemler doğrusal sistemlerde uygun olmasına karşın ARM sürme sistemi gibi doğrusal olmayan sistemlerde yetersiz kalmaktadırlar. Bu nedenle bu çalışmada katsayılar genetik arama algoritması kullanılarak online olarak belirlenmiştir. Farklı pozisyon koşullarında ortaya koyulan denetim sisteminin benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen benzetim sonuçları, motorun gerçek pozisyonunun referans pozisyonu oldukça iyi biçimde takip ettiğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Anahtarlama relüktans motorlar, genetik algoritmalar, pozisyon takip kontrolü.

## A TRACKING POSITION CONTROL OF THE SWITCHED RELUCTANCE MOTOR WITH GENETIC BASED CONVENTIONAL CONTROLLERS

### Abstract

In this study, position tracking control of the switched reluctance motor (ARM) is realized with the proportional (P) and the proportional + integral (PI) conventional controllers. P and PI controllers are used for position loop and speed loop, respectively. However, trial-and-error or analytical methods can be utilized for determination of the coefficients of the conventional controllers. These methods are capable of linear systems, but they are incapable on such that ARM drive systems. For this reason, these parameters are defined as online using genetic search algorithms in this study. Simulation studies are achieved for the performance of the proposed control systems under different position conditions. The obtained simulation results show that the actual position of the motor closely follows the reference position of the motor.

**Key Words:** Switched reluctance motors, genetic algorithms, position tracking control.

### 1. Giriş

Son yıllarda elektrik motorları sürme sistemlerinde bulanık mantık denetim, kayma kipli gibi doğrusal olmayan kontrol teknikleri hız ve pozisyon denetimlerinde kullanılmaktadır. Fakat bu tip denetleyiciler hem sistem tasarımı hem de işlemci kapasitesi açısından oldukça zahmetli olduğu açıktır. Buna karşın geleneksel denetleyiciler fazla işlem yükü gerektirmemesi, tasarımlarının gelişmiş denetim yöntemlerine göre basit olması nedeniyle endüstriyel uygulamalarda kullanımları yoğun olarak devam etmektedir.

\* Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 14030, Bolu, Türkiye, E-posta: oguzustun@ibu.edu.tr

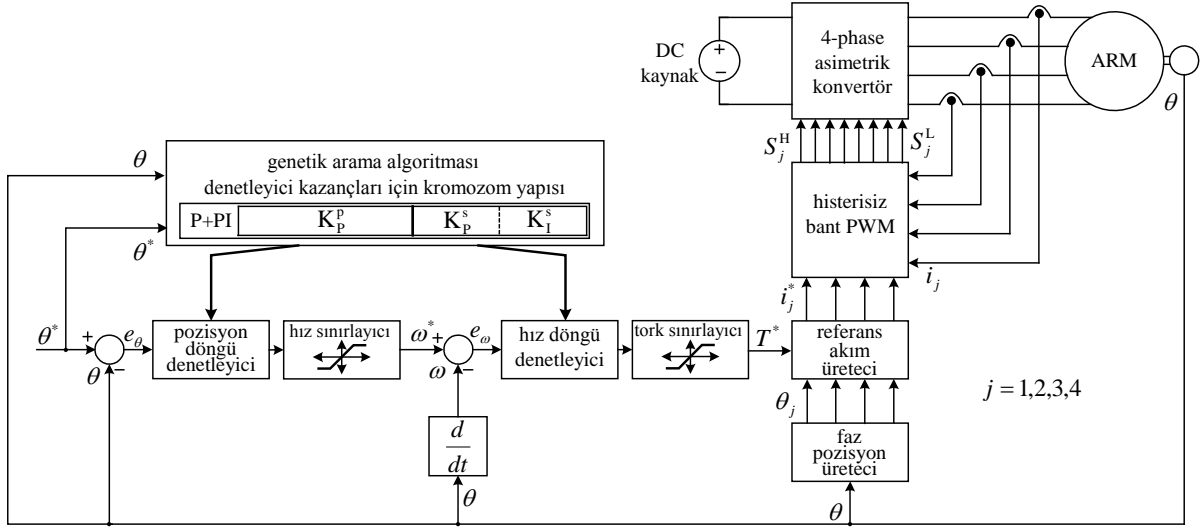
Geleneksel denetleyicilerde katsayıların bulunmasında birkaç metot bulunmaktadır. Deneme yanılma metodu pozisyon ya da hız tepkisine bakılarak katsayıların manuel olarak ayarlanması yöntemidir. Bu yöntem işlem yükü olmaması nedeniyle en kolay yöntem olarak görülebilir fakat en optimum katsayıların bulunması zordur aynı zamanda deneme-yanılma uzun zaman gerektirir. Bunun dışında analitik yöntemler geliştirilmiştir. Analitik yöntemlerde sistemin karakteristik denklemi elde edilerek katsayılar bulunabilir. Katsayıların bu yöntemle belirlenmesinde sistemin mekanik parametrelerinin bilinmesi ve buna göre işlem yapılması gerekir. Fakat elektromekanik sistemlerde bu parametrelerin elde edilmesinin güçlüğü ve parametrelerden kaynaklanan belirsizlikler sistemin tam bir modelinin elde edilmesini her zaman mümkün kılmaz. Son yıllarda geleneksel denetleyicilerin katsayılarının belirlenmesinde stokastik yapıda arama algoritmaları tercih edilmektedir. Online olarak katsayıların uyarlanması ve sistem parametrelerine ve dolayısıyla sistem modeline ihtiyaç duymaması nedeniyle ilgi çekici hale gelmişlerdir. Bu arama algoritmaları içinde en dikkat çekici olanlardan birisi genetik algoritmalarıdır. Genetik algoritmalar en iyi hayatta kalır ilkesine göre taklit edilmiş arama algoritmalarıdır. Genetik algoritmalar eğimli iniş algoritmalarında olduğu gibi eğim bilgisi gerektirmemesi ve sistem modeline ihtiyaç duymaması, çok boyutlu sistemlerde çözüm üretebilmesi ve kolay biçimde lokal minimumlara takılmaması nedeniyle oldukça sık kullanılan arama algoritmalarıdır [1].

Anahtarlamalı relüktans motorlar sağlam yapıları, rotorlarında sargı bulunmadığı için verimli olmaları, tork karakteristiği nedeniyle DC seri motorlara olan benzerlikleri nedeniyle kalkınma torklarının yüksek olması, çıkıntılı kutup yapıları gereği soğutma gerektirmemeleri, yüksek hızlarda çalışabilme kabiliyetleri nedeniyle endüstriyel uygulamalarda özellikle taşıma sistemlerinde kullanımları son yıllarda giderek artmıştır [2]. Uluslararası literatürde doğrusal ARM'ler için çeşitli pozisyon kontrol çalışmaları görülse de döner yapılı ARM'lerde pozisyon kontrolü ile ilgili çok az sayıda çalışma bulunmaktadır [3-6].

Bu çalışmada, anahtarlamalı relüktans motorun pozisyon takip kontrolü için geleneksel denetleyicilerin performansları test edilmiştir. Geleneksel denetleyicilerin katsayıları genetik algoritmalar kullanılarak online olarak elde edilmiştir. Farklı pozisyon koşullarında her bir denetleyici test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak verilmiştir.

## 2. ARM Sürme Sistemi

Benzetim çalışmasında kullanılan ARM sürme sisteminin konfigürasyonu Şekil 1'de verilmiştir. Sürme sisteminin güç tarafı 4-fazlı, 8/6 kutuplu, 3HP, ARM ve 4 fazlı asimetrik konvertör ve dc güç kaynağından oluşturulmuştur. Kontrol tarafında ise pozisyon denetleyici, hız sınırlayıcı, hız denetleyici, tork sınırlayıcı, herbir fazın pozisyonlarının üretildiği komutasyon üretici, referans akım üretici, histeresiz band akım denetleyici PWM olarak özetlenebilir. Şekil 1'de  $\theta^*$  referans pozisyonu,  $\theta$  rotor pozisyonu,  $e_\theta$  pozisyon hatası,  $\omega^*$  referans hız,  $\omega$  mekanik hız,  $e_\omega$  hız hatası,  $T^*$  referans tork,  $\theta_j$  faz pozisyonları,  $i_j^*$  referans faz akımları,  $i_j$  faz akımları,  $S_j^H$  ve  $S_j^L$  anahtarlama sinyallerini göstermektedir.



Şekil 1. ARM sürme sistemi

8/6 4 fazlı ARM kesit görünümü Şekil 2’de verilmiştir. 8 stator ve 6 rotor kutbundan oluşturulmuştur. Genel ARM akı ve tork karakteristikleri standart elektrik makinaları teorisine göre aşağıda olduğu gibi elde edilir [2],

$$v_j = r_i j + \frac{d\psi_j}{dt} \quad (1)$$

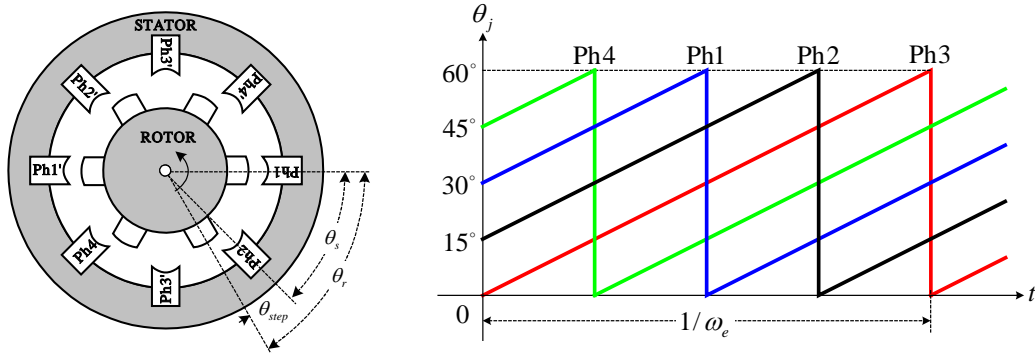
$$\psi_j(i_j, \theta_j) = \int (v_j - r_i j) dt \quad (1)$$

$$T_j(i_j, \theta_j) = \frac{\partial W'_j}{\partial \theta} \quad (3)$$

$$W'_j(i_j, \theta_j) = \int_0^{i_j} \psi_j(i_j, \theta_j) di \quad (4)$$

$$T_e(i_1, i_2, \dots, i_4, \theta) = \sum_{j=1}^J T_j(i_j, \theta_j). \quad (5)$$

burada  $j$  motor fazlarını temsil etmektedir ve  $j=1,2,\dots,4$  arasında değer alabilir.



Şekil 2. ARM kesit görünümü ve faz pozisyonları

Burada  $\theta_s = 360^\circ / N_s$ ,  $\theta_r = 360^\circ / N_r$  ve  $\theta_{step} = |\theta_r - \theta_s|$  olarak hesaplanır.  $N_r$  rotor kutup sayısı ve  $N_s$  stator kutup sayısını göstermektedir. Pozisyona bağlı çalışan elektrik makinalarında olduğu gibi ARM'lerde de uygun faz sırasının belirlenmesi çalışma sisteminin temelidir. Şekil 2'de gösterilen kesit görünümü ve büyüklükler kullanılarak, rotor pozisyon değişimine bağlı olarak her bir fazın pozisyon değişimi  $\theta_j$  kompakt olarak aşağıda olduğu gibi ifade edilir.

$$\theta_j = \text{mod}((\theta + \theta_s + (j - 4) \times \theta_{step}), \theta_r) \quad (6)$$

Burada  $\theta_s$  stator kutup açısı,  $\theta_r$  rotor kutup açısı,  $\theta_{step}$  rotor aım açısı ve  $\theta$  rotor pozisyonunu göstermektedir. mod fonksiyonu floating sayılar için alındığı varsayılmalı ya da tüm pozisyon değerlerinin tam sayı olarak ifade edilmelidir. Eşitlikten görüldüğü gibi, faz pozisyonları stator kutup sayısı, rotor kutup sayısı ve motor faz sayısına bağlı olarak göre belirlenir. Faz sırasının belirlenmesi ARM hız ve pozisyon kontrollerinde oldukça önemli bir ünitelerdir. Şekil 2'de gösterilen faz pozisyonları 8/6 motor için her bir  $60^\circ$  de anahtarlamalar tekrarlanır, yani elektriksel olarak bir periyot  $1/\omega_e$  tamamlanır. Burada  $\omega_e$  motorun elektriksel hızını gösterir. Bir faz için yapılan işlemler diğer fazlara da uygulanır, böylece işlemler daha sade olur.

Bununla birlikte Eş. 7'de gösterilen histeresiz bant PWM fonksiyonu ile anahtarların iletim ve kesim durumları belirlenir. Bipolar durumda,

$$S_j^H, S_j^L = \begin{cases} 1, & i_j^* - i_j \geq h_b \\ 0, & i_j^* - i_j \leq -h_b \end{cases} \quad (7)$$

Böylece pozisyon ve akım geri beslemesi kullanılarak istenen referans akıma bağlı olarak konverter anahtarları iletime ve kesime götürülür. Bunun sonucu olarak da motor fazlarında istenen akım değerleri elde edilir.

Anahtarlamalı relüktans makinaların tork modelinin çıkartılmasına yönelik çok sayıda çalışma mevcuttur. Bunlar kabaca doğrusal ve doğrusal olmayan tork modellerinden oluşur. Bu çalışmada Ustun [2] tarafından geliştirilen yapay sinir ağı tabanlı tork ve akım modeli kullanılmıştır.

### 3. Genetik Tabanlı Geleneksel Pozisyon Denetleyicilerin Tasarımı

#### 3.1. P\_PI pozisyon denetleyici

Pozisyon döngü denetleyici olarak orantı (P) ve hız döngü denetleyici olarak orantı+integral (PI) kullanılmıştır.

Pozisyon döngü denetleyicinin sürekli zaman çıkış ifadesi,

$$\omega^*(t) = K_p^\theta e_\theta(t), \quad (8)$$

$$e_\theta(t) = \theta^*(t) - \theta(t) \quad (9)$$

ve ayrık zaman çıkış ifadesi,

$$\omega^*(k) = K_p^\theta e_\theta(k) \quad (10)$$

$$e_\theta(k) = \theta^*(k) - \theta(k) \quad (11)$$

olarak verilebilir.

Hız döngü denetleyicinin sürekli zaman çıkış ifadesi,

$$T^*(t) = K_p^\omega e_\omega(t) + K_I^\omega \int e_\omega(t) dt, \quad (12)$$

ve ayrık zaman çıkış ifadesi,

$$\Delta T^*(k) = K_p^\omega \Delta e_\omega(k) + T_s K_I^\omega e_\omega(k) \quad (13)$$

$$T^*(k) = T^*(k-1) + \Delta T^*(k) \quad (14)$$

$$e_\omega(k) = \omega^*(k) - \omega(k) \quad (15)$$

$$\Delta e_\omega(k) = e_\omega(k) - e_\omega(k-1) \quad (16)$$

olarak verilebilir. Burada  $T_s$  örnekleme periyodunu,  $k = 1, \dots, N$  örnekleme sayısını göstermektedir.

### 3.2. Genetik arama algoritmasının yapısı

Genetik algoritmaların yapısı sırasıyla kromozom yapısının teşkil edilmesi, kromozomu oluştururken kullanılacak kodlama tekniğinin belirlenmesi, popülasyon büyüklüğünün belirlenmesi, uygunluk fonksiyonunun seçimi, ailelerin seçim yöntemi, genetik operatör tiplerinin belirlenmesidir. Bu yapısal ayarlamalar belirlendikten sonra genetik yapı oluşturulur. Bu yapı ve yöntemler kullanılarak algoritma çıkartılır [7].

Kromozom 3 genden oluşturulmuştur. Her bir geleneksel denetleyici katsayısı bir gen temsil etmektedir. Klasik genetik algoritmalarda ikili kodlama tekniği kullanılmaktadır. Bu çalışmada genetik algoritma işlem süresinin düşürülmesi için gerçek sayılarla kodlama tercih edilmiştir.

Popülasyonun belirlenmesinde önemli olan popülasyonun kaç bireyden oluşturulacağı ve başlangıç değerlerinin nasıl seçileceğidir. Genetik algoritmalar tasarlanırken popülasyon büyük seçilirse, genetik algoritmanın istenen çözüme ulaşması daha uzun zaman alır. Tersine popülasyon çok küçük seçilirse bu durumda popülasyon içerisindeki bireylerin çeşitliliği düşeceği için lokal minimumda kalmasına neden olacaktır. Bu nedenle algoritma çevrim süresi dikkate alınarak mümkün olduğunca popülasyonun büyük seçilmesi önerilir. Bu çalışmada 10 bireyden oluşan bir popülasyon deneme yanılma yöntemine göre belirlenmiştir.

Uygunluk fonksiyonu pozisyon hatasının sıfıra çekilmesi için aşağıda olduğu gibi tanımlanmıştır.

$$fitness = 1.0 / \left[ 1.0 + \sum_{k=1}^N e_{\omega}(k) \right] \quad (17)$$

Uygunluk fonksiyonu hangi bireyin bir sonraki nesilde bulunup bulunmayacağını gösteren temel parametredir. Bir kromozoma ait uygunluk değeri ne kadar yüksek olursa o kromozomun aile olarak seçimi daha güçlü bir olasılıktır. Her bir kromozom dizisi için ARM sürme sistemi çalıştırılır. Popülasyon içerisindeki tüm bireyler için uygunluk değerleri bulunur. Genetik algoritma ya daha önce belirlenen uygunluk değeri yakalanırsa sonlandırılır. Uygunluk değeri en yüksek olan birey saklanır böylece en uygun etkinlik fonksiyonları elde edilmiş olur.

Bir sonraki neslin üretilmesi için popülasyon içerisindeki bireyler arasından uygunluk değerlerine bağlı olarak aileler belirlenir. Bu çalışmada ailelerin seçiminde özel bir yöntem uygulanmıştır. Rank-based ve elitizm yöntemleri kullanılmıştır. Öncelikle uygunluk değerine göre popülasyon içerisindeki bireyler en yüksekten aşağıya doğru sıralanmıştır. En yüksek uygunluk değerine sahip birey hem aile olarak seçilmiş hem de doğrudan bir sonraki nesile dahil edilmiştir. Böylece en iyi performansı sağlayan birey algoritma tamamlanana kadar korunması sağlanmıştır.

Üreme işleminde çaprazlama ve mutasyon olarak adlandırılan iki genetik operatör kullanılır. Çaprazlama işlemi aile seçiminden elde edilen aileler kullanılarak yeni döller meydana getirilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus popülasyon içerisindeki çeşitliliğin kaybolmaması ve bunun yanında uygun bireylerin çaprazlamada tamamen kaybedilmemesidir. Bu çalışmada bir sonraki nesil için gerekli bireylerin oluşturulması için çok noktadan çaprazlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Çaprazlamaya girecek olan bireyler rastgele seçilmiş ve 0.75 olasılık değeri kullanılmıştır. Çaprazlama noktaları yine rastgele seçim ile belirlenmiştir.

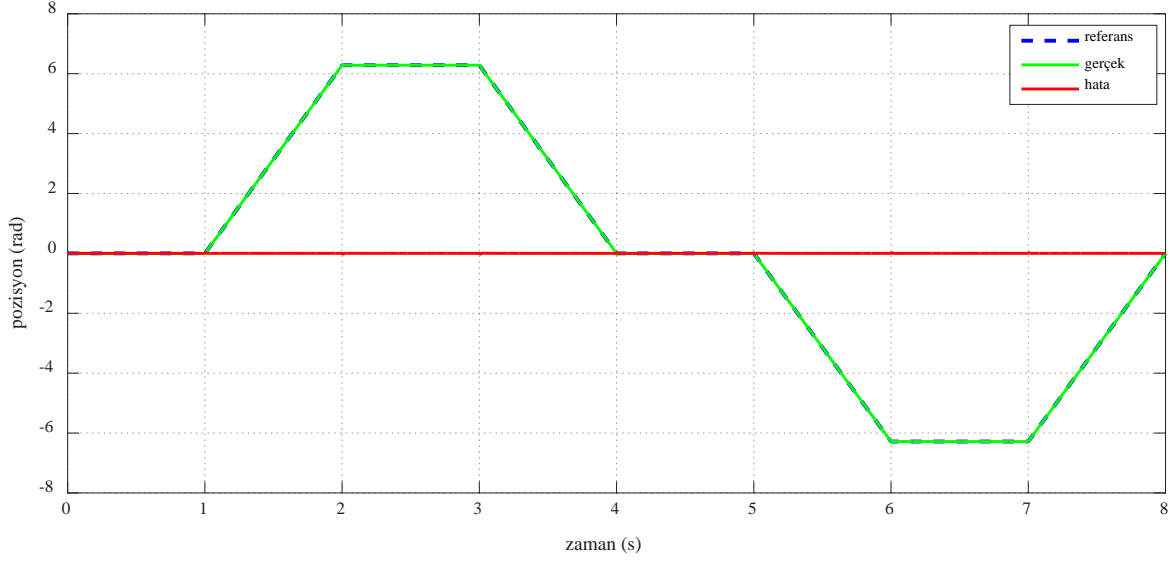
Çaprazlama sonucu elde edilen bireylere popülasyondaki çeşitliliği artırmak için mutasyon uygulanarak yeni popülasyonun oluşumu tamamlanır. Bu genetik operatörde de mutasyon oranlarına dikkat edilmesi gerekir. Mutasyon oranı büyük seçilirse popülasyondaki bireylerin çeşitliliği artarken uygun bireylerin tamamen kaybedilmesine de yol açabilir. Her bir bireyin mutasyon olasılığı 0.25 olarak seçilmiştir.

#### 4. Benzetim Çalışması

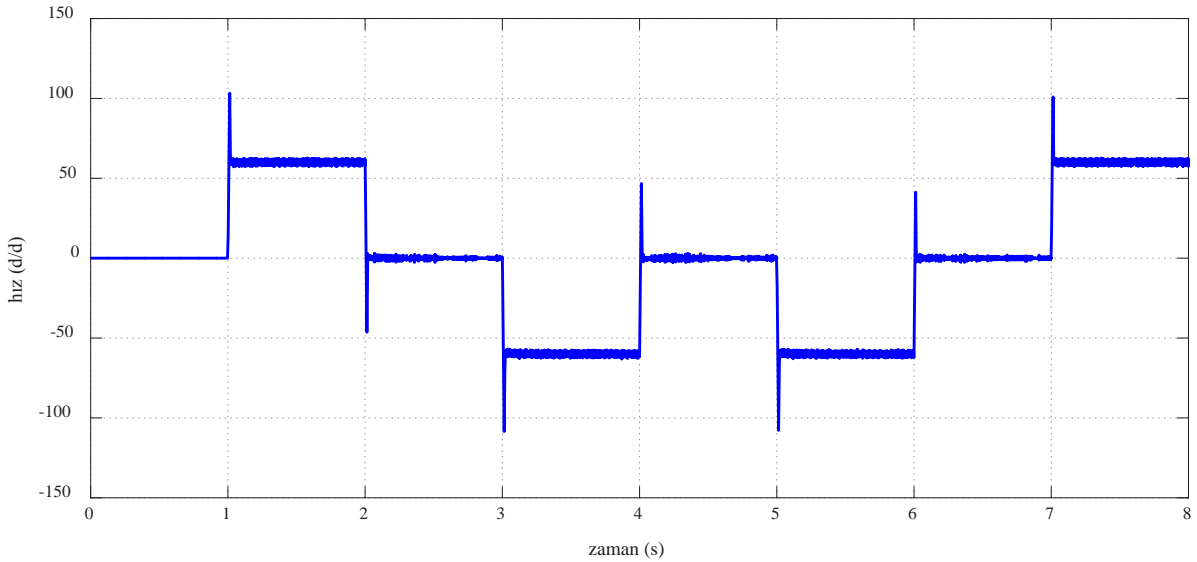
İkinci ve üçüncü bölümde anlatılan ARM sürme sistemi ve denetleyici yapıları kullanılarak farklı pozisyon referansı için testler gerçekleştirilmiştir. Ortaya koyulan denetleyicinin performansını belirleyen özellik motorun gerçek pozisyonunun referans pozisyonu yakından takip edebilmesidir. Bu amaçla 3 farklı tip test düzeneği oluşturulmuştur. İki yönlü trapez fonksiyonu, iki yönlü PI fonksiyonu ve sinüzoidal fonksiyon referans pozisyon olarak alınarak testler gerçekleştirilmiştir. Test fonksiyonları seçilirken iki yönlü pozisyon denetimi olması ve 4 bölgeli çalışma esas alınmıştır. Bunun sonucu olarak motorun tüm çalışma koşullarında testleri gerçekleştirilmiş olmaktadır. Böylece gerçek sistemlerde ARM'nin pozisyon takip denetimlerinde rahatlıkla kullanılabilmesi amaçlanmıştır.

Şekil 3'de maksimum değeri  $2\pi$  olan çift yönlü trapez referans pozisyonu için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Testler 1Nm yük için gerçekleştirilmiştir. Bu pozisyon takip tipi doğrusal pozisyon değişiminin gerektiği uygulamalarda kullanılabilir. Şekil 3(a) grafiğinde pozisyon

sonuçları görülmektedir. Referans, gerçek ve pozisyon hatası grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde gerçek pozisyonun referans pozisyonu yakından takip ettiği ve pozisyon hatasının tüm durumlarda sıfıra yakın olduğu görülmektedir. Bu çalışma durumu için denetleyici performansı gayet iyi sonuç vermiştir. Şekil 3(b)'de hız değişim grafiği görülmektedir. Pozisyon değişimlerinin olduğu noktalarda hızlarda darbeler olduğu görülmektedir. Hızın pozisyonun türevi olduğu düşünülürse bu davranışın normal olduğu görülebilir. Bu geçiş noktalarında pozisyon değişimlerinde çok küçük salınımların olması doğal bir durumdur. Bu nedenle pozisyon takip denetimlerinde pozisyon değişimlerinin çok büyük olmamasına dikkat edilmesi gerekir. Sınırlayıcı faktör budur.



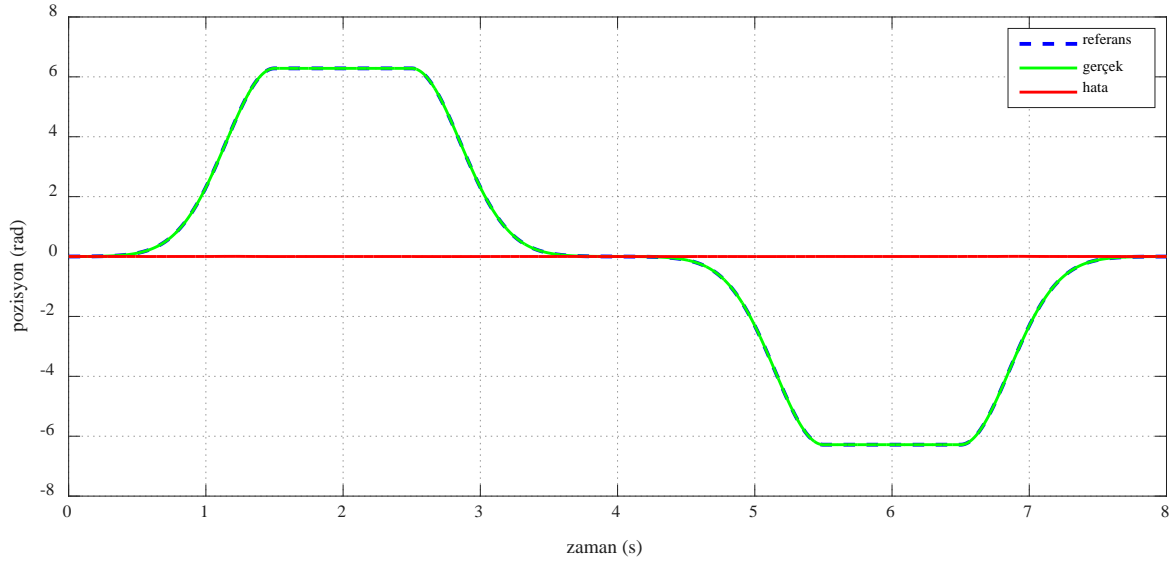
(a)



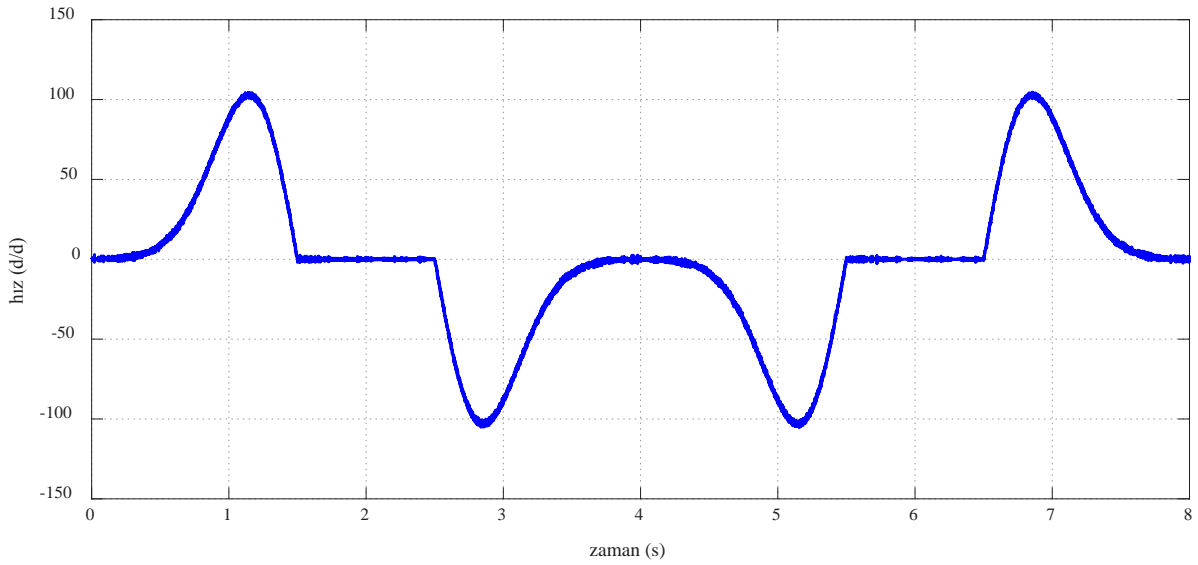
(b)

**Şekil 3.** Çift yönlü trapez referans pozisyonu için benzetim sonuçları a) pozisyon b) hız.

Şekil 4’de maksimum değeri  $2\pi$  olan çift yönlü PI referans pozisyonu için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Testler 1Nm yük için gerçekleştirilmiştir. Bu tip çalışmalar üssel değişime sahip olduğu için pozisyon başlangıcı ve bitim noktaları daha yumuşak bir değişime sahip olacaktır. Hem üssel değişim hem de sabit pozisyon hareketleri gereken durumlarda elverişli bir çalışma sağlar. Şekil 4(a) grafiğinde pozisyon sonuçları görülmektedir. Referans, gerçek ve pozisyon hatası grafikleri verilmiştir. Bu çalışma için de grafikler incelendiğinde gerçek pozisyonun referans pozisyonu yakından takip ettiği ve pozisyon hatasının tüm durumlarda sıfıra yakın olduğu görülmektedir. Bu çalışma durumunda da denetleyici performansı gayet iyi sonuç vermiştir. Şekil 4(b)’de hız değişim grafiği görülmektedir. Bu çalışma durumu için hız tepkisinde piklerin olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla pozisyon değişim noktalarında trapeze göre salınımlar çok daha az olacaktır.



(a)

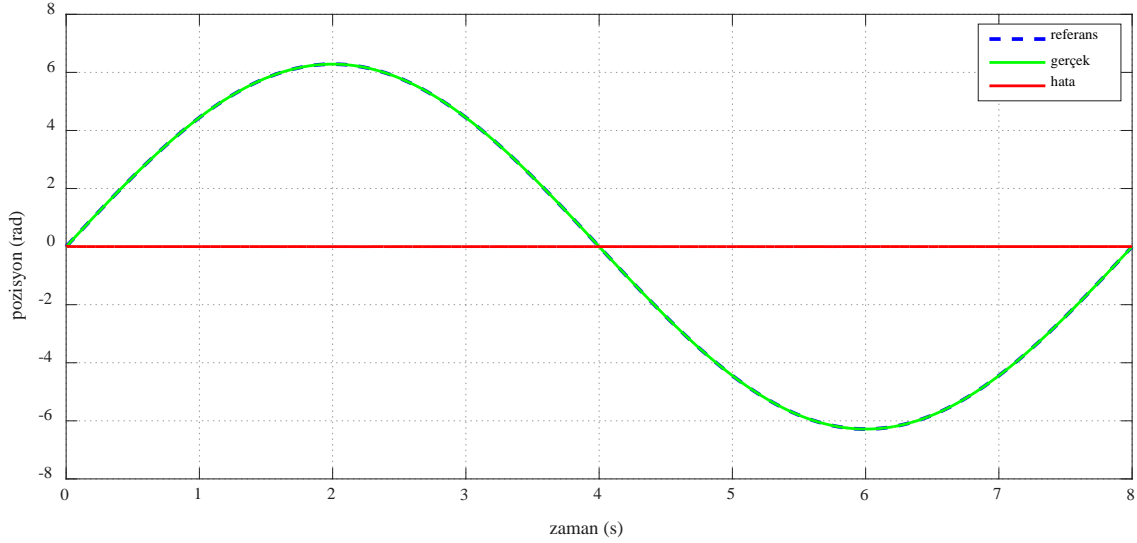


(b)

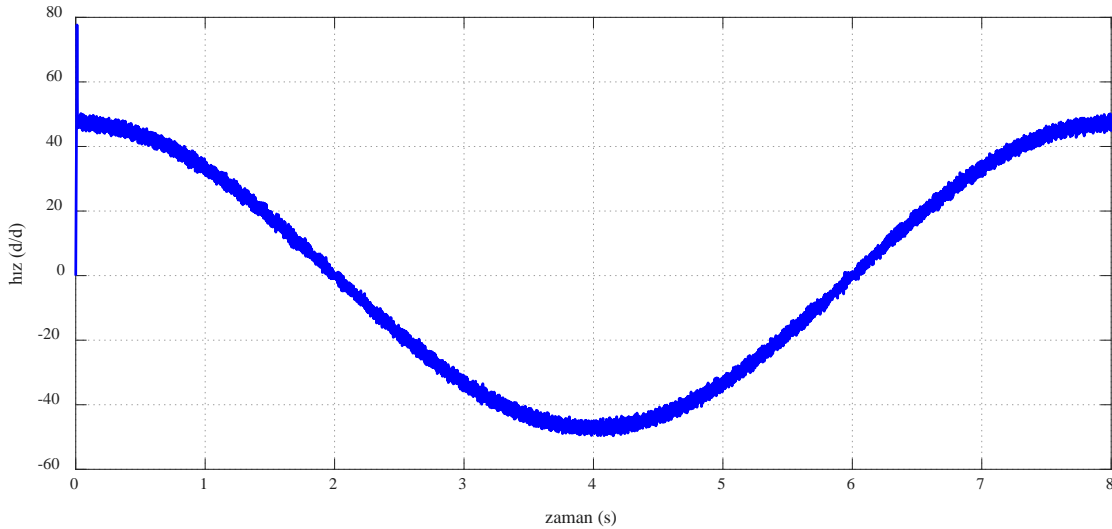
**Şekil 4.** Çift yönlü PI referans pozisyonu için benzetim sonuçları a) pozisyon b) hız.



Şekil 5’de maksimum değeri  $2\pi$  olan sinüzoidal referans pozisyonu için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Testler 1Nm yük için gerçekleştirilmiştir. Bu tip çalışmalar sürekli olarak pozisyon hareketinin olduğu durumlarda kullanılabilir. Şekillerden de görüldüğü gibi pozisyonun sabit olduğu durum yoktur. Şekil 4(a) grafiğinde pozisyon sonuçları görülmektedir. Referans, gerçek ve pozisyon hatası grafikleri verilmiştir. Bu çalışma için de grafikler incelendiğinde gerçek pozisyonun referans pozisyonu yakından takip ettiği ve pozisyon hatasının tüm durumlarda sifira yakın olduğu görülmektedir. Bu çalışma durumunda da denetleyici performansı gayet iyi sonuç vermiştir. Şekil 4(b)’de hız değişim grafiği görülmektedir. Bu çalışma durumu için sadece başlangıç durumunda hızda pikler görülmektedir. Dolayısıyla sadece pozisyon salınımları bu noktada oluşabilir.



(a)



(b)

**Şekil 5.** Sinüzoidal referans pozisyonu için benzetim sonuçları a) pozisyon b) hız.

Her üç çalışma durumunda da denetim performansının oldukça iyi olduğu görülmektedir. Referans pozisyonlar çalışma yerine göre seçilmelidir ve salınımların en az olacağı biçimde fonksiyonlar belirlenmelidir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada geleneksel P-PI denetleyicilerin katsayıları online olarak genetik algoritmalar kullanılarak belirlenmiş ve gürbüz bir denetim gerçekleştirilmiştir. ARM pozisyon takip kontrolü gerçekleştirilmiştir. Trapez, PI ve sinüzoidal pozisyon referansları için benzetim sonuçları alınmıştır. Her üç çalışma içinde gerçek pozisyonun referans pozisyonu yakından takip ettiği görülmüştür. Tepkilerde salınımlar oldukça azdır ve pozisyon hatası sıfıra yakındır. Bu yöntem ve referans pozisyon çalışması gerçek sistemde rahatlıkla kullanılabilir.

## 6. Kaynaklar

- [1] Man, K. F., Tang, K. S., Kwong, S. (1996). Genetic algorithms: concepts and applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 43(5), 519–534.
- [2] Ustun, O. (2009). A nonlinear full model of switched reluctance motor with artificial neural network, *Energy Conversion and Management*, 50 (9), 2413–2421.
- [3] Mademlis, C., Kioskeridis, I. (2010). Gain-scheduling regulator for high-performance position control of switched reluctance motor drives, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(9), 2922-2931.
- [4] Rafael, S., Branco, P. J., Pires, A. J. (2012). A study and design of a position tracking control for an 8/6 switched reluctance machine, *The 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 1643-1647.
- [5] Niwa, Y., Abe, T., Higuchi, T. (2013). A study of rotor position control for switched reluctance motor, *IEEE 10th International Conference on Power Electronics and Drive Systems*, 1039-1044.
- [6] Reay, D.S., Moud, M. M., Williams, B.W. (1995). On the appropriate uses of fuzzy systems: fuzzy sliding mode position control of a switched reluctance motor, *IEEE International Symposium on Intelligent Control*, 371-376.
- [7] Ustun, O. (2009). Determining of activation functions in a feedforward neural network by using genetic algorithm, *Journal of Engineering Sciences, Pamukkale University Engineering Faculty*, 15(3), 225-134.